

Averse et crue du 1^{er} septembre 1987 en Brie (Bassin du Petit-Morin)

Monique DACHARRY (1)

RÉSUMÉ

Le 1^{er} septembre 1987, aux confins des départements de l'Aisne et de la Seine-et-Marne, une averse orageuse d'une fréquence certainement pluri-centennale a produit de très grosses crues, inondations et coulées de boue en 66 communes. L'événement météorologique est étudié à partir des données au sol, très ténues, et grâce aux images du radar de Trappes. Les aspects pluviométriques et hydrologiques sont comparés en quatre bassins tributaires du Petit-Morin, différents par la taille (de 0,80 km² à 14,75 km²) et la morphologie. La lame d'eau moyenne précipitée y est de l'ordre de 75 à 85 mm en une heure, avec une intensité maximale de 225 mm/h pendant quatre minutes. Les débits estimés sont exorbitants et ravageurs: maxima instantanés de l'ordre de 22 à 25 m³/s/km² et transports solides particulièrement insolites dans l'agglomération d'Orly-sur-Morin et dans le Grand Ravin (1 750 t/km²) aux hameaux de Saint-Ouen-sur-Morin.

MOTS-CLÉS: Averse orageuse — Radar — Pluie moyenne — Crue — Débit maximum instantané — Dynamique fluviale — Erosion — Végétation.

ABSTRACT

THE BRIE STORM AND FLOODS OF 1st SEPTEMBER 1987

On the 1st september 1987, a storm occurred over the valleys of the Rivers Marne and Petit-Morin producing heavy floods, extensive flooding, considerable erosion and damage in 66 villages. Due to the lack of recorded rainfall and flow data within this area it is difficult to estimate the frequency of this unusual rainfall (perhaps 500 years return period) and following on river flow. Some nearby records and the radar data of Trappes were useful in explaining the meteorological event. The relation between estimated rainfall and runoff is described in four small physiographically different catchments (0,80 km² to 14,75 km²). The storm gave about 100 mm of rain within an area of some 25 km long and 3 km wide, most of precipitation being concentrated between 4 and 4,45 p/m, with an average rainfall, on the catchments, of 80 mm. Estimated peak discharges of 15/25 m³/s/km², combined with other basins characteristics, explains unwanted sediment transport (1500-1750 t/km²) issued from the Grand Ravin catchment.

KEY WORDS: Storm — Radar — Average rainfall — Flood — Peak discharges — Fluvial dynamics — Erosion — Vegetation.

1. INTRODUCTION

Les turbulences hydrologiques du Grand-Morin, du Petit-Morin et du Surléon sont connues. Ces cours d'eau briards peuvent imprimer au débit de la Marne de vigoureuses poussées même à la suite d'averses médiocres de 20/25 mm en un jour ou 30/40 mm en deux ou trois jours: lors de la crue historique de la Seine en 1910, c'est leur flot ultime, consécutif aux pluies locales des 22-25 janvier qui, ajouté au produit des cataractes déversées sur tout le bassin entre le 17 et le 20, fit tourner l'événement à la catastrophe le 28 janvier à Paris. De même le maximum de décembre 1923 — janvier 1924, le plus élevé dans la capitale après celui de 1910, fut dû à une crue «supplémentaire» des

(1) Professeur à l'Université des Sciences et techniques de Lille I, 59655 — Villeneuve d'Ascq Cedex.

tributaires méridionaux de la Basse-Marne. En saison chaude, si les pulsations transmises à la grande rivière sont beaucoup plus modestes, il arrive que des averses orageuses locales de 50 à 100 mm en quelques heures ou même en une heure, qui sont possibles dans le Bassin Parisien quoique rares, produisent de très grosses crues sur des ruisseaux ou des petites rivières.

C'est un paroxysme pluvial de ce type qui, le 1^{er} septembre 1987, s'est abattu sur le plateau dominant la vallée de la Marne entre Coulommiers et Barzy (fig. 1). Selon la presse locale, «*en très peu de temps la campagne se trouve recouverte et transformée en un gigantesque borbier, jonché de pierres, troncs d'arbres... déferlant sur la vallée... Dans les vallées de la Marne et du Petit-Morin, on assiste à un véritable bouleversement... Saint-Ouen et Orly-sur-Morin semblaient avoir attiré toutes les foudres du ciel. En une demi-heure à peine, les eaux de la charmante petite rivière [ru de la Fonderie] grossirent démesurément, augmentant le niveau de plus de trois mètres, emportant les voitures, les arbres, le pont de la D 31, la cabine téléphonique, bousculant les maisons riveraines, saccageant les propriétés et les jardins... Plus d'électricité, plus de téléphone, Orly était totalement isolé... Entre Château-Thierry et Dormans, un ru transformé en torrent a creusé un lit de trois mètres de profondeur sur dix mètres de large dans la chaussée de l'autoroute A 4 [au PK. 89.250 sur la commune d'Epieds, à quatre kilomètres environ à l'est de l'échangeur de Château-Thierry]. Deux voitures sont tombées dans le gouffre, les deux automobilistes ont été grièvement blessés...*» (Le Pays Briard, 4 septembre 1987 et La Marne, 3 septembre 1987).

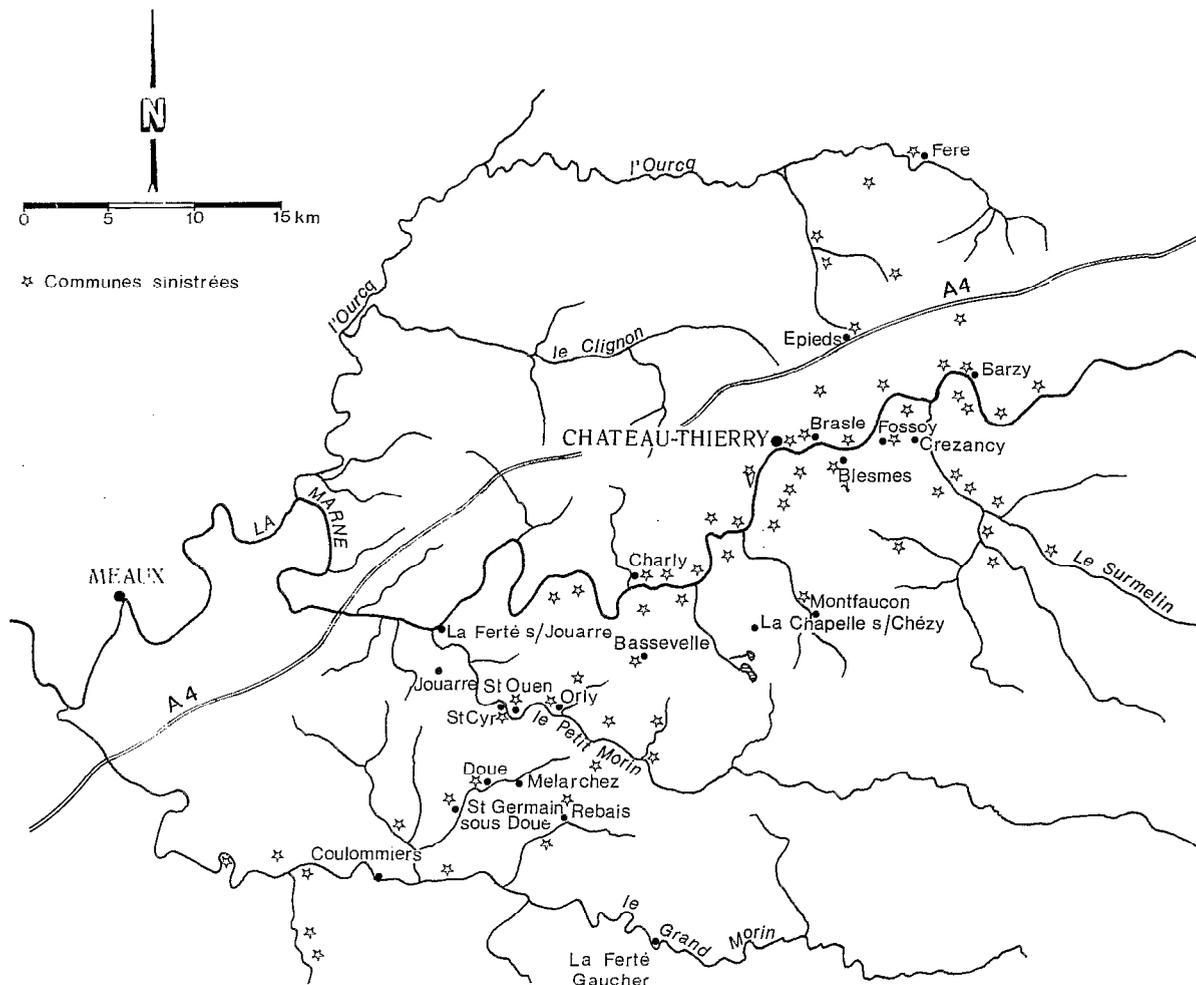


FIG. 1. — Situation générale

Dans un espace de forme elliptique, orienté sud-ouest/nord-est, long d'une cinquantaine de kilomètres et large de dix, les inondations, coulées de boue et mouvements de terrains étaient, par arrêté du 15 octobre 1987 et en application de l'article 1 de la loi du 13 juillet 1982, déclarés «catastrophes naturelles»: soixante-six communes étaient sinistrées, quarante-quatre dans le département de l'Aisne et vingt-deux dans celui de la Seine-et-Marne.

D'une enquête sur le terrain, menée dans la semaine suivant le désastre, résultent les descriptions et explications qui suivent. Elles se concentrent sur une partie seulement de la zone touchée: le plateau d'entre Marne et Petit-Morin, drainé vers le sud par les affluents de rive droite de cette rivière, d'Orly-sur-Morin à Jouarre. L'espace est suffisamment vaste cependant, environ 25 km², pour que les dynamiques d'écoulement aient été différentes en quatre petits bassins versants ici comparés: ru de la Fonderie, ru de Chavosse, ru de Charnesseuil, ru de Vorpillière. L'enquête et la méthode comparative suppléent ici à l'information par mesures directes, pratiquement inexistantes. Cette averse, exceptionnelle pour la région, aurait pu, sans les sinistres qui l'ont suivie, passer à peu près inaperçue dans les mailles trop lâches du réseau pluviométrique. En effet, le Bulletin hebdomadaire d'études et de renseignements de la Météorologie Nationale (Météo. Hebdo.. semaine du 31.08.87 au 6.09.87) retient simplement ce qui suit. «Mardi 1: la zone orageuse qui a pénétré lundi sur nos régions de l'ouest poursuit son déplacement vers les régions de l'intérieur. Le matin, temps très brumeux sur la Bretagne et le nord de la France ainsi qu'en Aquitaine, puis rapidement des nuages cumuliformes se développent et des orages éclatent sur la Normandie, l'Île-de-France, la Franche-Comté et en Alsace le soir. En Aquitaine, des orages éclatent dès le milieu de la nuit, ils s'étendent le soir jusqu'au Languedoc. A Limoges, on a recueilli 14,8 mm d'eau entre 01.25 et 02.25 TU, à Dax on a recueilli 27,2 mm d'eau entre 08.05 et 11.30 TU, à Bordeaux on a recueilli 34,2 mm d'eau entre 13.00 et 14.06 TU. Episode orageux en Corse également à la mi-journée...»

Un tel défaut d'information est fréquent dans le cas d'averses peu extensives, de courte durée et de forte intensité, et la recherche de palliatifs-indispensables surtout en milieux urbanisés ou densément occupés — a, depuis les années 30, donné lieu à de nombreux travaux en France et à l'étranger. Krigeage, abattement-épicerage, méthode AURELHY en sont des illustrations récentes (ORSTOM, 1987).

2. LE CADRE MORPHOLOGIQUE

2.1. TOPOGRAPHIE ET STRUCTURE

Ici, le Petit-Morin serpente paresseusement au fond d'une vallée large de 250 à 900 mètres, à fond plat, à méandres encaissés, qui entaille le plateau briard de plus de 100 mètres. L'altitude générale du plateau se relève au nord-est jusqu'à la proche Montagne de Reims: 140 m à l'ouest de Coulommiers, 160 m près de Jouarre, 200 m au nord de Saint-Cyr et Orly-sur-Morin, 220 m de part et d'autre de la Marne à l'est de Château-Thierry. La pente est conforme à la structure monoclinale dominante à l'est de la «cuvette» parisienne. Dans le détail, la montée irrégulière du plateau ainsi que le tracé capricieux du réseau hydrographique traduisent une architecture particulière en dômes et cuvettes, accidentés de petites failles, l'un des accidents tectoniques les plus marqués étant le synclinal de la Marne, de Charly à Courthiezy (LEFEVRE, 1943).

2.2. ROCHES ET SOLS

L'armature du plateau est constituée par la «formation de Brie» (Stampien inférieur) d'une épaisseur de 30 à 40 m, ensemble argileux empâtant des blocs de meulière. Ces terrains argilo-calcaires sont surmontés d'une couche de limons argileux, d'épaisseur variable (plusieurs mètres), jaunâtres, peu carbonatés, de texture limono-sableuse, peu perméables. Dans les faibles et larges dépressions du plateau, les dépôts colluviaux, plus fins, ont jadis favorisé l'existence d'étangs aujourd'hui disparus mais dont la toponymie garde le souvenir (Etang de Bussières dans le bassin du ru de la Fonderie, l'Étang neuf dans celui de Vorpillière).

L'incision de la vallée du Petit-Morin, celles de ses affluents, ru de la Fonderie, ru de Vorpillière, mettent à jour des terrains plus anciens: argiles vertes, marnes supra-gypseuses à l'ouest des Hameaux de Saint-Ouen, le faciès du calcaire de Champigny apparaissant à l'est dans le vallon du ru de la Fonderie; plus bas, marnes infra-gypseuses, bancs compacts du calcaire siliceux de Saint-Ouen (Bartonien supérieur), sables et grès de l'Auversien, en partie recouverts d'alluvions au fond de la vallée principale. En fait, sur les versants, lesaffleurements sont masqués par les éboulis très hétérogènes de sable, de limon, de blocs de calcaires, grès et meulières. Cette granulométrie grossière et la forte pente y interdisent en général la culture: c'est le domaine des bois et taillis, des vignobles abandonnés et des vergers sur les parties bien exposées près des villages. Le contraste est net avec les larges espaces ouverts du plateau livré aux grandes cultures.

2.3. BASSINS VERSANTS

Dans les bassins versants étudiés, les mêmes éléments topographiques et les mêmes types de couverture végétale se répartissent en proportions variées. Quelques données comparées dans le tableau I et les figures 2 et 3 montrent, en première analyse, que l'action de freinage opposée par chaque bassin à l'écoulement des crues doit y prendre des aspects différents.

TABLEAU I
Caractères topographiques des bassins versants

Bassin d'amont en aval	ru de la Fonderie	ru de Chavosse	Grand Ravin	ru de Charnesseuil	ru de Vorpillièrre
superficie (km ²)	14,75	0,80	0,40	2,11	5,05
altitude maximum	205	189	189	198	187
altitude minimum (mètres)	71	67	75	65	57
pente moyenne du talweg principal	2,58%	8,13%	12 %	5,9%	3,8%
pente maximum des versants	25 %		28 %		12 %
part de plateau dans le bassin	> 175m 74,5%	> 170m 57,5%	> 170m 53,2%	> 170m 72,5%	> 160m 80,6%
pourcentage de surfaces boisées	13,8%	44 %	45 %	14 %	14,25%
indice de compacité $Kc = 0,28 \frac{P}{\sqrt{S}}$	1,31	1,10	1,16	1,44	1,62
indice de Caquot $\frac{L}{\sqrt{S}}$	1,37	1,29	1,94	2,41	2,12

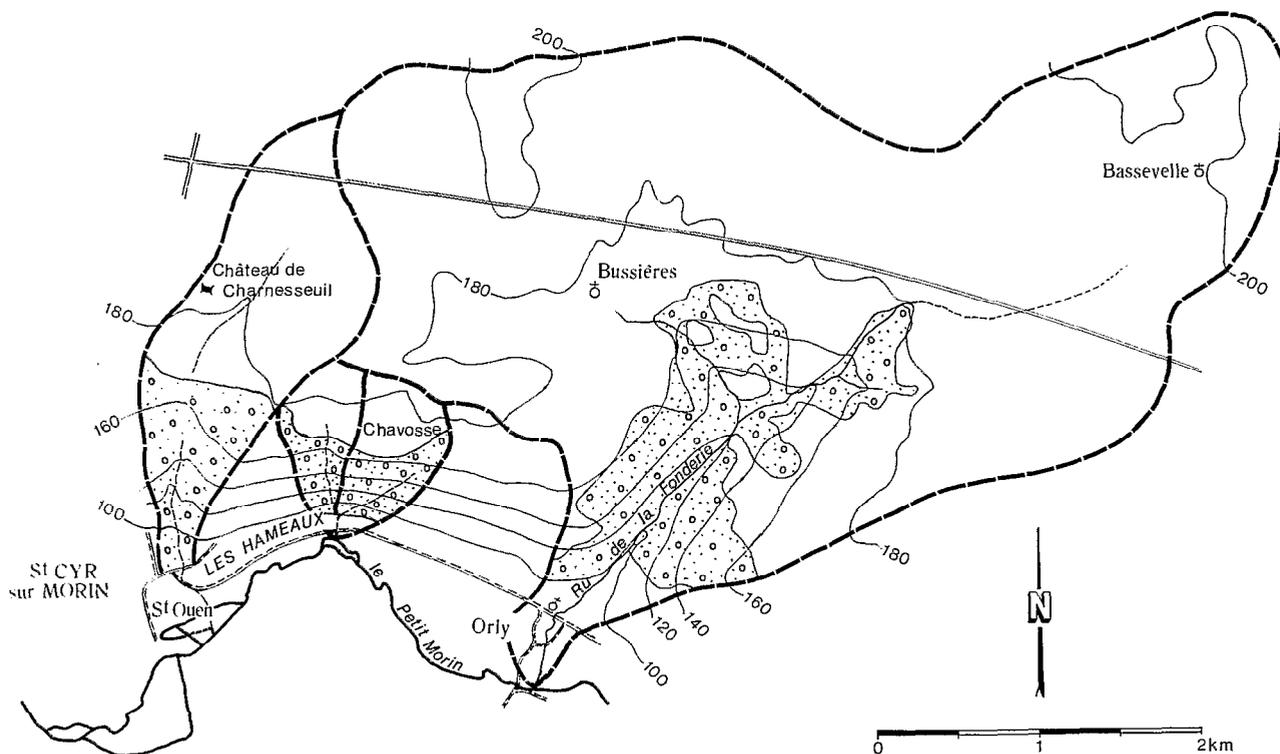


FIG. 2. — Cartes des bassins. 2a. Bassins des rus de la Fonderie, de Chavosse, de Charnesseuil

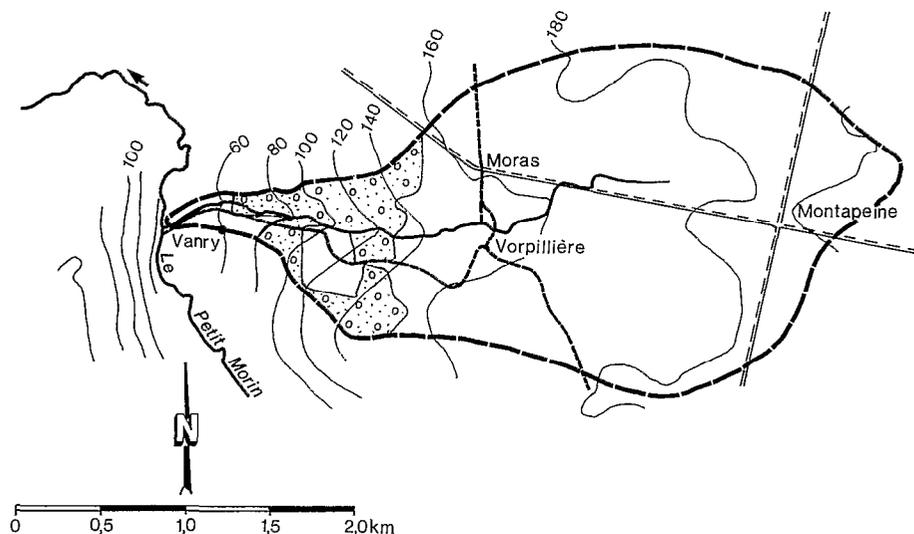


FIG. 2b. — Bassins du ru de Vorpillière

Le ru de la Fonderie et le ru de Vorpillière ont les bassins les plus étendus (14,75 km² et 5,05 km²), tous deux évasés à l'amont sur les plateaux et rétrécis en vallée étroite à la traversée du talus de rive droite du Petit-Morin. L'écoulement y est permanent et le débit moyen annuel en valeur interannuelle doit être de l'ordre de 90 l/s pour le premier et de 30 l/s pour le second. Le ru de Charnesseuil draine — au sens propre, par drains souterrains, sur

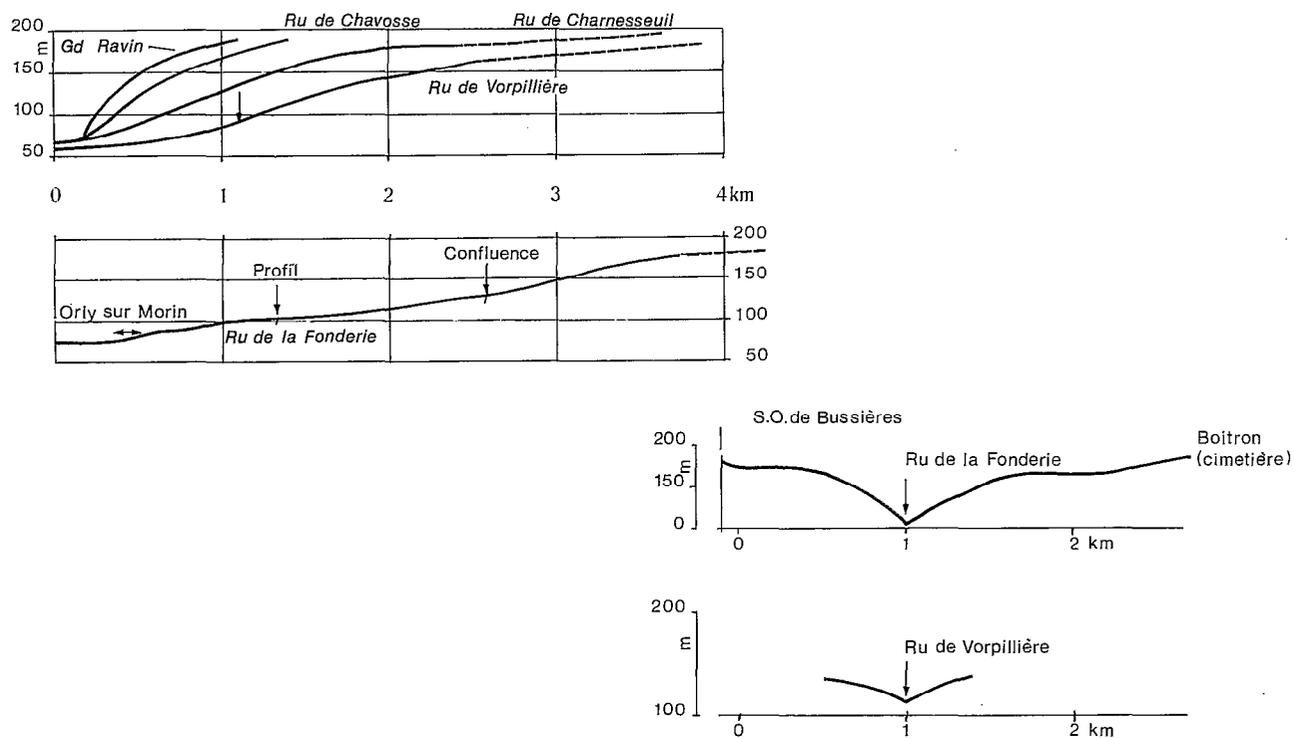


FIG. 3. — Profils longitudinaux et transversaux

le plateau c'est-à-dire sur 80% de son bassin — une superficie de 200 ha. Son écoulement intermittent, principalement alimenté en période humide, se concentre dans un profond vallon boisé pour atteindre la vallée du Petit-Morin où une canalisation enterrée sous une ancienne décharge le conduit à la rivière. La vallée du *ru de Chavosse* incise le versant du Petit-Morin dans la partie concave d'un ancien méandre. Son affluent, le *Grand Ravin* (Ravin des Pierrots, aux Hameaux de Saint-Ouen), suit directement la pente dans sa partie la plus abrupte. Ni l'un ni l'autre ne sont marqués sur la carte au 1/25 000 de l'IGN mais des chemins de randonnée signalent les thalwegs. Il n'est pas rare cependant de les voir couler «très blanc» à la suite de périodes pluvieuses prolongées pendant la saison froide mais, l'été, ils sont généralement à sec.

3. L'AVERSE DU 1^{er} SEPTEMBRE

3.1. SITUATION AÉROLOGIQUE GLOBALE

La perturbation provenant d'Espagne qui, depuis la veille, avance vers le nord-est à travers la France pénètre le 1^{er} septembre dans un thalweg barométrique baignant le nord et le centre du pays, entre un anticyclone continental en recul vers l'est et une avancée de hautes pressions atlantiques. L'évolution orageuse suit un processus classique, d'autant plus vigoureux que les masses d'air affrontées sont contrastées: au sol, il fait moyennement chaud, autour de 26°, mais surtout humide et brumeux en fin de matinée quand le flux frais de sud-ouest aborde la Brie avec une température de 20 à 22° au sol, surmonté en altitude par de l'air relativement froid sur le front oriental du thalweg barométrique (− 13° sur la carte synoptique à 500 mb de 12 h TU c'est-à-dire 14 h, heure locale). L'ascendance froide de l'air continental humide préexistant se traduit d'abord par l'amoncellement impressionnant de nuages qui obscurcissent le ciel. Le vent souffle en tempête en même temps que se déclenche l'averse d'une intensité inouïe pour la région. Il grêle par endroits, à Rebais, par exemple, et à Montfaucon où ont été signalés pendant cinq minutes des grêlons atteignant 7 mm de diamètre.

3.2. INFORMATION SUR LA PLUIE

Trois sources d'information ont servi à analyser l'averse: le réseau des pluviomètres, l'enregistrement d'un pluviographe du proche bassin de l'Orgeval, géré par le CEMAGREF, et les images répétitives du radar de la Météorologie Nationale, implanté à Trappes près de Paris. Font accidentellement défaut les images METEOTEL du radar de Dammartin-en-Goële (réseau ARAMIS de la Météorologie Nationale) qui n'ont pas été imprimées ce jour-là et les observations de la station météorologique automatique de Blesmes, qui a été foudroyée.

3.2.1. *Les pluviomètres* du réseau, tous à la périphérie des quatre bassins hydrologiques considérés, ont recueilli respectivement durant l'averse: 35 mm à Saint-Cyr-sur-Morin dans la vallée du Petit-Morin, 44,6 mm à Charly-sur-Marne, 51 mm à Montfaucon (8 km à l'est du bassin du ru de la Fonderie), 46,8 mm à Rebais (6 km au sud d'Orly-sur-Morin). En dehors du réseau, sur le plateau, au cœur du secteur étudié, une unique donnée se révèle d'un grand prix: au château de Charnesseuil, le pluviomètre a recueilli 60 mm entre 14 h et 14 h 30 et 92 mm entre 14 h et 15 h. Au sud du Petit-Morin, d'autres agriculteurs ont relevé les hauteurs d'eau suivantes: 40 mm à la ferme du Péron (commune de Saint-Ouen-sur-Morin, au fond de la vallée R.G.); 85 mm à la ferme du château de Doue (dans le bassin voisin de l'Orgeval); 65 mm en 45 minutes à la ferme de la Derrier (sur le plateau drainé vers le Grand-Morin, entre Doue et Boissy-le-Chatel).

3.2.2. *Le pluviogramme* de Saint-Germain-sous-Doue (poste pluviométrique n° 7 du bassin de l'Orgeval) garde le privilège de décrire les variations de l'intensité pluviale au pas de temps d'une minute et demie (fig. 4). En effet, à six reprises, en une demi-heure, le débit pluvial s'est intensifié, chaque recrudescence a porté ses effets sur le ruissellement. Les deux-tiers de l'averse sont tombés dans les vingt premières minutes, avec un paroxysme de 16 mm durant un peu plus de quatre minutes (entre 14 h 17 et 14 h 21), soit une intensité de 226 mm/h.

3.2.3. *De l'imagerie radar* dans l'état actuel de la technique, ce qui est attendu est une distribution de la pluie dans l'espace et dans le temps plutôt qu'une estimation du volume d'eau précipitée. Quoiqu'à la limite du domaine exploré par le radar de Trappes, la région considérée n'en a pas moins été complètement balayée toutes les quinze minutes.

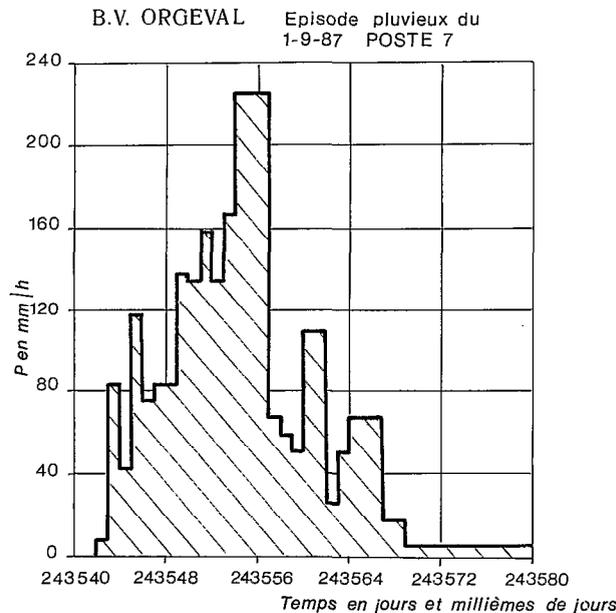


FIG. 4. — Hyéogramme de l'averse (les trois premiers chiffres des nombres portés en abscisse correspondent au 243^e jour de l'année, soit le 1^{er} septembre; les trois chiffres suivants indiquent l'heure. 540 correspond à 13 h 58, 548 à 14 h 09...)

Les cartes qui résultent du traitement, par la Météorologie Nationale, des données de réflectivité sont produites en huit couleurs, attribuées chacune à une tranche d'intensité hypothétique de moins de 0,3 à plus de 600 mm/h, avec une résolution spatiale de 1,6 km × 1,6 km. Huit images se succédant de quart d'heure en quart d'heure à partir de 11.45 TU c'est-à-dire 13 h 45, heure locale, décrivent le développement du processus météorologique. Les extraits de quatre de ces images, couvrant la zone étudiée, sont présentés de façon simplifiée à la figure 5.

3.3. DÉROULEMENT DE L'AVERSE

Au cours des deux heures d'observation, le système orageux qui se déplace vers le nord-est à une vitesse moyenne de 15 m/s va à peu près doubler de dimension (de 5 000 km² à 10 000 km²) en changeant de structure. A 13 h 45, heure locale, la ligne de grains repérés par les taches de plus forte réflectivité (dans l'échelle des intensités correspondantes, entre 50 mm/h et 100 mm/h) est nettement orientée NO-SE suivant un axe Meaux-Provins et précédée d'une zone de pluie qui touche l'ouest du bassin de l'Orgeval et celui du ru de Vorpillière. Entre 14 h et 14 h 15, en même temps que les noyaux d'intensité maximale se multiplient et se renforcent, le front convectif se déforme: comme s'il était freiné au nord, il envahit tout le plateau de Charnesseuil-Bussières. A 14 h 30, il est le plus actif au nord de Saint-Ouen et Orly-sur-Morin. A 14 h 45, il a pris dans sa partie septentrionale une orientation franchement SO-NE, parallèle en gros à la vallée de la Marne. A 15 h, la zone de forte réflectivité a dépassé les bassins étudiés, progresse toujours vers le nord-est sur le plateau qui domine la Marne en rive gauche, franchit la vallée et s'attarde au nord-est immédiat de Château-Thierry entre 15 h 15 et 15 h 30, au moment précisément où a lieu le sinistre sur l'autoroute A 4. Puis, avec des intensités très atténuées, le système nuageux poursuit son déplacement vers le nord-est.

3.4. LAMES D'EAU PRÉCIPITÉES

L'averse doit ses caractères d'extension, d'intensité, de structure à la fois aux conditions aérologiques générales et aux facteurs géographiques particuliers ainsi que cela a été si souvent vérifié (PÉDELABORDE, 1957): en ces types de temps orageux, les phénomènes d'ascendance de l'air sont étonnamment sensibles aux moindres accidents qu'offre la surface du sol. Tout laisse penser qu'ici plusieurs éléments topographiques ont freiné la progression de l'air frais venant du sud-ouest, accentué ainsi les conditions d'instabilité et renforcé les ascendances au sein du corps pluvieux. Ces éléments topographiques sont:

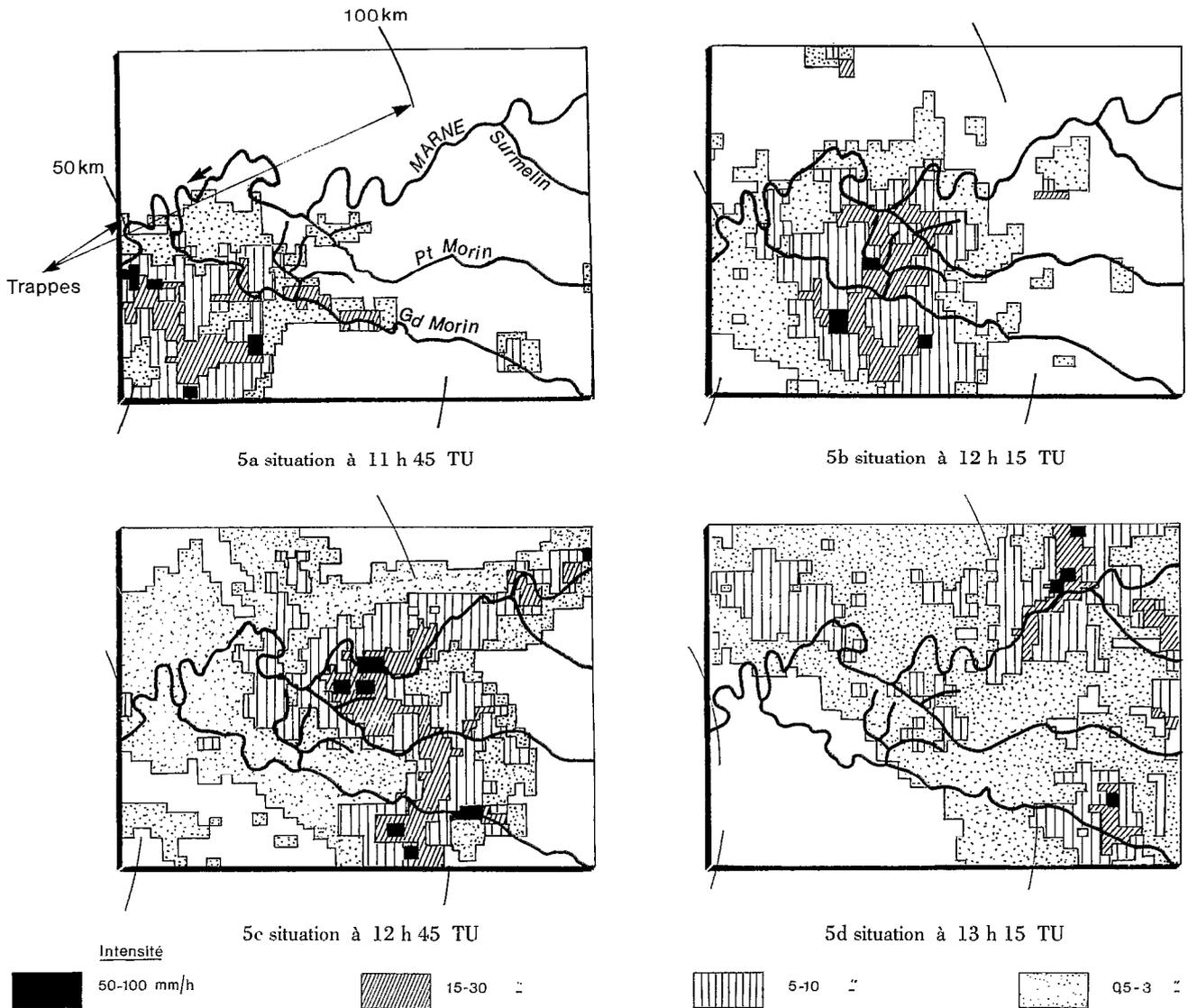


Fig. 5. — Evolution du corps nuageux d'après les images-radar de Trappes (extraits simplifiés).

3.4.1. *le relèvement progressif* du plateau de Brie (détaillé ci-dessus) depuis le creux parisien autour de 100 m d'altitude jusqu'à la cuesta bordière de l'Île-de-France qui culmine à 287 m dans la Montagne de Reims et dont le revers humide et boisé baignait, ce matin-là, dans une lourde grisaille;

3.4.2 *les différenciations topographiques* de 120 à 160 m de dénivellation formées par les incisions, grossièrement parallèles entre elles et perpendiculaires au flux d'air principal, des vallées du Grand-Morin, du Petit-Morin, de la Marne en aval de la Ferté-sous-Jouarre et du Surmelin, toutes ensemble très suffisantes pour créer une sorte de rugosité freinante;

3.4.3. *la configuration de la vallée de la Marne*, orientée de Charly à Barzy SO-NE assez ample pour canaliser le courant orageux et assez encaissée pour provoquer une ascendance rapide au bord du plateau qui la domine. Ainsi s'explique l'inflexion de la ligne de grains entre 14 h et 14 h 45 autour d'un centre situé au nord du Petit-Morin, à

hauteur des bassins de Charnesseuil, Bussières, ru de la Fonderie. Une autre conséquence est la forte intensité pluviale là où l'air est contraint de s'élever brusquement.

Les indices de pluies maximales relevés ont été de 90 mm à Charnesseuil et de 91,2 mm à Crézancy, jalonnant une ligne Doue (85 mm) — Charnesseuil — Basseville — La Chapelle-sur-Chézy — Pétret — Crézancy et se prolongeant sur la rive droite de la Marne dans le large cul-de-sac en amphithéâtre que constitue le méandre encaissé de Château-Thierry; de 60 m au fond de la vallée, l'altitude passe à 230 m sur les hauteurs boisées entre la Marne et la haute vallée de l'Ourcq (forêts de Verdilly, de Fère, de Ris). Les pluies y ont été très violentes: Beuvarde, à 5 km au nord de l'autoroute A 4, a reçu 75 mm.

Sur une bande de 25 km, large de 2 à 3 km environ, la lame d'eau pourrait certainement avoir dépassé 100 mm. Pour chacun des quatre bassins étudiés, les hauteurs moyennes précipitées ont été évaluées d'après la carte des isohyètes, qui tient compte à la fois du dispositif orographique, des indices pluviométriques existant et des concentrations décelées sur les images radar. Les valeurs sont portées au tableau II. Elles sont de 75 à 85 mm pour une averse qui a duré une heure.

TABLEAU II
Estimations hydrologiques

Ru	bassin versant (km ²)	module estimé (l/s)	Averse du 1 ^{er} septembre 1987				
			P moyenne (mm)	volume pluvial (m ³)	Coef. Ecou. (%)	débit maximum instantané (m ³ /s) (l/s/km ²)	
Fonderie	14,75	90	85	1.253.800	70	200	13.600
Grand Ravin	0,40		75	30.000	80	9	22.500
Charnesseuil	2,11	15	85	179.350	68	35	16.600
Vorpillièrre	5,05	35	80	404.000	66	75	14.800

En l'absence de données nécessaires à une étude statistique sur la probabilité d'occurrence d'une telle précipitation, il est possible de rapprocher ces résultats particuliers de valeurs générales connues et comparables pour en apprécier la rareté.

Ponctuellement, l'intensité relevée à Saint-Germain-sous-Doue, 226 mm/h, pendant quatre minutes, approche les valeurs maximales signalées en Europe océanique. Elle est du même ordre que le record atteint le 24 août 1987 lors de l'averse orageuse à Paris-Montsouris. Les chutes de 50/60 mm en une demi-heure y sont également très rares (HOLLAND, 1968). A Paris-Montsouris, une pluie de 53 mm en une demi-heure aurait une période de retour de cent ans (CALVET, 1980).

La carte des isohyètes révèle, à partir du noyau d'intensité maximale, un gradient de l'ordre de 15/20 mm/km; décroissance forte — moindre cependant que celles de 30 mm/km et plus autour des grands orages d'été en des régions de même latitude et de faible relief au États-Unis (HERSHFIELD, 1967).

Selon la «Synthèse nationale sur les crues des petits bassins versants» (Ministère de l'Agriculture, 1980), la pluie maximale locale journalière de fréquence décennale serait, dans la région, de l'ordre de 45/50 mm et la pluie de fréquence centennale de 60 mm. Sur le bassin voisin de l'Orgeval, la plus forte pluie journalière survenue depuis le début des mesures en 1962 a été de 49,2 mm le 14 juillet 1980, la période de retour étant estimée à soixante ans. M. PARDE avait constaté qu'une averse de 50 mm, en deux jours consécutifs, représente à peu près le maximum de ce qu'a reçu en hiver, depuis un siècle, le bassin du Grand-Morin.

La lame d'eau moyenne précipitée le 1^{er} septembre 1987 sur les bassins étudiés serait rangée dans «les phénomènes très rares» suivant la vieille échelle de Bilham — qui garde encore sa pertinence et divise les averses de forte intensité en trois classes, «notable» (noteworthy), «remarquable» (remarkable) et «très rare» (very rare) (NEWSON, 1975).

4. ASPECTS HYDROLOGIQUES

4.1. LES RUS ONT RÉAGI BRUSQUEMENT A L'AVERSE

Aux débits liquides imposants se sont ajoutées les charges solides formées de particules fines enlevées au plateau et d'éléments grossiers arrachés aux versants et aux lits dans les vallées. Il en est résulté une force d'attaque et de transport considérable.



Photo 1. — *Ru de la Fonderie à Orly-sur-Morin* — Au premier plan, érosion laissée par les eaux du ru hors de son lit habituel, lequel est situé sous les arborescences au second plan



Photo 2. — *Ru de la Fonderie* — Les gros blocs de calcaire siliceux et de meulière, comme la paille des champs, ont, par endroits, formé des barrages éphémères



Photo 3. — *Orly-sur-Morin* — Dans son jardin, cette maison était située à cinq mètres du ru. Le mur, de part et d'autre des fenêtres a gardé la trace du niveau atteint par les eaux à l'extérieur comme à l'intérieur

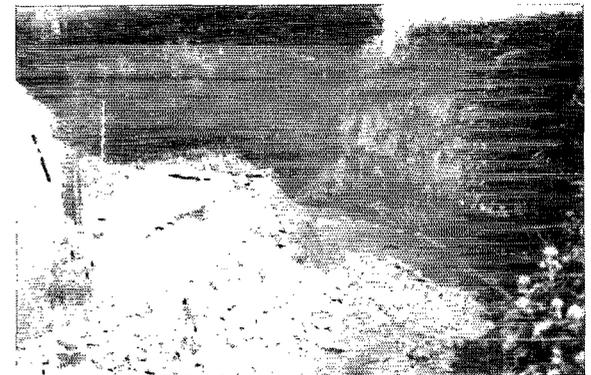


Photo 4. — *Orly-sur-Morin* — Une construction dont subsistent les fondations a été balayée par la crue



Photo 5. — *Aux Hameaux de Saint-Ouen*, le matériel hétérogène de la coulée a recouvert les jardins

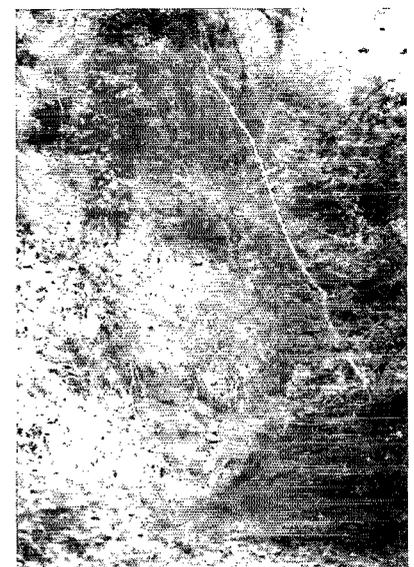


Photo 6. — *Ru de Chavosse*. Une dense végétation n'a pas empêché les éboulements sur les versants

Les effets morphologiques les plus spectaculaires ont été observés dans le Grand Ravin et le long du ru de la Fonderie dans la traversée d'Orly-sur-Morin, là où les débits ont excédé de beaucoup la capacité d'évacuation offerte par la section mouillée de la rivière et les ouvrages d'évacuation des eaux (cf. photos). Il convient d'élucider les raisons pour lesquelles la dynamique fluviale a été moins destructrice sur les rus de Chavosse, de Charnesseuil et de Vorpillière.

4.2. DÉBITS LIQUIDES

Etant donné la soudaineté et l'abondance généralisée des pluies, de gros débordements se sont aussi produits dans le champ d'inondation que constitue le large fond peu incliné de la vallée du Petit-Morin, au lit profond, anastomosé par endroits, encombré d'obstacles (ponts, moulins, buses, grilles à moutons...) et, à l'évidence, pauvrement entretenu. Aux Hameaux, un riverain a vu sa maison, d'un côté baignée par les eaux du Petit-Morin en crue et, du côté opposé envahie par les eaux boueuses descendant du versant. Cependant, l'étalement des eaux dans la vallée principale et l'échelonnement des apports venant d'affluents aux pentes localement fortes mais trop courtes pour nourrir longtemps les débits, ont contribué à l'amortissement rapide de la crue du Petit-Morin.

Les données hydrométriques font complètement défaut pour connaître le volume liquide total qui a transité dans le Petit-Morin. Le limnigraphe de la station de Jouarre, implanté au Moulin de Vanry immédiatement avant la confluence du ru de Vorpillière, était en panne. Seule une laisse de crue est restée visible à 2 m 35 sur l'échelle qui s'arrête à 2 m 50. En cette station vétuste et complexe, un jaugeage a pu être fait par les soins du SRAE le 9 octobre suivant pendant une crue considérée forte: le débit mesuré était de 14 m³/s pour une cote de 2 m 21 à l'échelle. Mais il est impossible d'en tirer encore rien de probant avant une vérification de la courbe de correspondance hauteurs/débits. En effet, la liste des maxima instantanés annuels relevés antérieurement (tableau III) est un exemple des difficultés souvent rencontrées en hydrométrie et dont on ne peut se rendre compte sans une bonne connaissance du site.

TABLEAU III
Maxima instantanés annuels à la station hydrométrique de Jouarre (Petit-Morin. 604 km²)

	date	cote (m)	débit (m ³ /s)
1976	14.2	2,16	12,2
1977	21.2	2,24	12,1
1979	1.1	2,31	23,3
1980	14.3	2,38	27,2
1981	16.10	2,46	25,9
1982	17.12	2,36	11,8
1983	1.3	2,41	12
<u>1987</u>	<u>1.9</u>	<u>2,35</u>	<u>16,5</u>

Comme pour les pluies, les observations hydrologiques collectées sur le bassin d'Orgeval sont utiles, au moins pour apprécier la rareté de l'événement, bien que cette crue largement débordante, excédant toutes les courbes de tarage, n'ait pas été jaugeée. Sur le ru de Fosse-Rognon, à Mélarchez, à l'issue de 7 km² de plateau, la valeur record de 3 m³/s enregistrée depuis vingt-cinq ans (1962-1987) aurait été presque triplée le 1^{er} septembre 1987 selon les premières estimations, avec un débit de l'ordre de 8 m³/s, soit 1 142 l/s/km².

TABLEAU IV
Pluies mensuelles de 1987 comparées aux normales N (1951-1980) aux stations les plus proches des bassins

Station	Mai 1987 (N)	Juin 1987 (N)	Juillet 1987 (N)	Août 1987 (N)	total 1987 (N)
Charly s/Marne	63 (51)	110 (53)	92 (54)	72 (55)	337 (213)
Meaux	66 (53)	84 (49)	80 (53)	73 (55)	303 (210)
La Ferté-Gaucher	82 (54)	104 (62)	116 (57)	72 (57)	374 (230)

4.2.2. Causes éloignées de la crue

L'averse du 1^{er} septembre a eu pour prélude un fort excédent pluvial global remontant au mois de mai (tableau IV). Quatre jours seulement d'assez beau temps avaient succédé à la grande vague orageuse qui s'était abattue sur toute l'Île-de-France dans la seconde quinzaine d'août avec, localement, à Rebais, les chutes journalières suivantes :

le 22 août.....	0,8 mm
le 24 août.....	24,2 mm
le 25 août.....	12,3 mm
le 26 août.....	3,5 mm
le 27 août.....	2,2 mm
total.....	43 mm

Cet apport préalable n'est pas négligeable, sans être suffisant à cette époque de l'année pour saturer les sols : il faudrait, ici, en une dizaine de jours, 30 à 35 mm en décembre/mars, 40 à 50 mm en avril, 60 à 70 mm en septembre/octobre.

Autre circonstance aggravante : sur le plateau, le sol était nu, seulement parsemé de brindilles de paille, dans la plupart des champs après la récolte des céréales.

4.2.3. Evaluation géographique des débits maxima

La crue a affecté différemment les quatre bassins, assez proches pour que l'apport pluvial ait présenté partout les mêmes caractères, qu'il s'agisse des lames d'eau moyennes précipitées ou de la chronologie de l'averse.

Les différences constatées dans la puissance des débits sont dues aux traits morphologiques particuliers de chaque bassin (taille, forme, dessin du réseau hydrographique, pentes, composition des divers éléments topographiques, obstacles à l'écoulement). Il faut en tenir compte dans l'estimation des coefficients de ruissellement et des temps de concentration des eaux.

4.2.3.1. L'exceptionnelle intensité de la pluie d'une part et l'exigüité des bassins d'autre part suggèrent que les *coefficients de ruissellement* ont été, dans l'ensemble, très élevés et que les pulsations des rus ont reproduit de très près celles des chutes d'eau. Les valeurs moyennes portées au tableau II ont été calculées pour chaque bassin en fonction tant du contraste topographique principal entre plateau et vallées que de leur relative extension.

Sur les surfaces de faible pente, celles aussi qui ont été le plus arrosées — d'après les nombreux rendements constatés ailleurs sous des conditions comparables — le coefficient 0,60 est le minimum vraisemblable. Sur les pentes les plus fortes, un ruissellement égal à 90 % des précipitations ne semble pas exagéré. Les coefficients moyens obtenues classent les bassins dans l'ordre suivant : Ravin des Hameaux (0,80), ru de la Fonderie (0,70), ru de Charneuseuil (0,68), ru de Vorpillière (0,66). Variant dans l'espace, ces coefficients varient aussi au cours de l'averse. Chaque redoublement de la pluie provoque une poussée du débit et un sursaut de coefficient de ruissellement. Le paroxysme d'intensité pluviale relevé à Doue vers 14 h 20, de 16 mm pendant un peu plus de quatre minutes, correspond à un débit pluvial énorme de 61 538 l/s.km² qui, sur d'aussi minimes surfaces réceptrices, a toutes chances de passer, sans pertes, dans la rivière, créant une pointe de débit très forte et très brève avec une force cinétique redoutable.

4.2.3.2 Les vitesses d'évolution ont été très rapides. Même sur le plateau, selon un témoin, «...la pluie diluvienne transforme les champs en véritables piscines dont l'eau se déverse dans les fossés trop étroits pour l'évacuer» ou encore «Je regardais la pluie tomber avec violence lorsque, brusquement, j'ai vu l'eau descendre l'allée en formant un ruisseau se dirigeant droit sur notre sous-sol». Après le début de l'averse et un temps d'inertie hydrologique du bassin, très court, la concentration a été d'autant plus rapide et, par conséquent, les débits d'autant plus puissants que le bassin est plus ramassé et, moins longue, l'artère principale. De fait, les bassins des rus de Vorpillière et de Charneuseuil sont les plus allongés et le débit maximum y a été moins fort malgré l'étroitesse et l'inclinaison de leur thalweg. Renforçant l'effet d'allongement, des facteurs d'étalement du flot ont aussi joué à l'amont dans les deux bassins.

En bordure du plateau, les constructions du hameau de Vorpillière ont, en quelque sorte, barré le passage à l'eau débordant du petit lit à peine incisé et très encombré. Les buses assurant normalement le passage du ru sous la route ont été très vite obstruées par les cailloux, branches et bouchons de paille jonchant les champs : il y eut dans la rue 40 cm d'une eau boueuse qui remplit les caves et envahit les rez-de-chaussées des maisons. En bordure du ru, le mur d'un jardin céda «qui avait résisté lors d'un événement un peu moins grave de 1951» et les gros moellons de 25 cm

de diamètre furent transportés sur plus de cinquante mètres, formant barrage un peu plus bas dans le ru. Dans le bassin de *Charnesseuil*, une digue-levée (déjà portée en 1852 sur un plan du parc entourant le château) coupe, sur 250 m, le vallon du ru naissant. La buse du petit pont s'étant trouvée bouchée, l'eau s'est accumulée sur 60 cm, noyant un champ de haricots à l'amont. Très certainement cette retenue artificielle a modéré la montée des eaux en aval et, indirectement, protégé le versant des dommages qu'il aurait pu subir. Le bas du vallon a été néanmoins submergé par une eau très trouble qui s'est répandue dans la «Garenne», espace de friches non bâti à l'extrémité des Hameaux de Saint-Ouen. Au contraire, à mi-pente du *Grand Ravin des Hameaux*, en un temps qui n'a pas beaucoup excédé la durée de l'averse, il est probable que le débit, pendant quelques minutes, a atteint 9 ou 10 m³/s, soit 22 000 à 25 000 l/s/km², valeur rappelant les excès méditerranéens.

Dans le bassin du *ru de la Fonderie*, le plus grand des quatre (14,75 km²) plusieurs traits physiographiques ont concouru à aggraver la crue: profil longitudinal redressé, encaissement du ru en aval et, surtout, convergence des deux branches à peu près égales issues de bassins compacts (Kc 1,17 et 1,15) avant le rétrécissement de la vallée. De la surface réceptrice du plateau (11 km² au-dessus de 175 m d'altitude) où s'est maintenu l'épicentre de l'averse, il s'est écoulé 564 000 m³. Dans les vallons, sur les champs ainsi que dans les hameaux inondés de Basseville et de Bussières, l'écoulement a été retardé sur des paliers relatifs ou derrière des obstacles. Puis, pénétrant dans la vallée encaissée, le flot a grossi jusqu'à un débit difficile à évaluer à cause des passages de l'eau dans les issues rencontrées ou forcées au long de l'agglomération d'Orly-sur-Morin. Le produit du ruissellement a pu y atteindre le chiffre énorme de 180 à 200 m³/s (12 000 à 13 000 l/s/km²), valeur de pointe étonnante, moins rare cependant qu'on ne le croit communément à la suite d'orages estivaux violents dans des petits bassins de même taille non méditerranéens, en Allemagne, par exemple (PARDÉ, 1961) ou en Grande-Bretagne (NEWSON, 1975). Enfin, à cause de l'étalement de l'eau sur les aires submersibles, la décroissance alimentée par les derniers débits ruisselants retardés a été beaucoup plus lente que la montée.

4.3. DÉBITS SOLIDES ET ÉROSION

4.3.1. La description et l'étude détaillées des modifications intervenues dans le lit du ru de la Fonderie dépassent l'objet du présent article. *Le sapement des berges et les formes d'abrasion* visibles dans le fond du lit éphémère attestent que le flot turbulent chargé d'éléments solides de toutes tailles a eu, en certaines courbes ou secteurs étroits, une force d'arrachement et de transport considérable (cf. photos).

4.3.2. Franchissant la bordure du plateau, les rus de Vorpillière, Charnesseuil et Chavosse ont également emporté de très fortes charges solides. Mais, dans le Grand Ravin, la conjonction d'un profil longitudinal très raide, de versant fortement inclinés (28 à 30%) dans un matériel marno-calcaire peu cohérent, et d'une croissance fulgurante du débit a produit une lave torrentielle qui a dévasté le bas du talus dans sa partie habitée. La charge en particules fines a aussi contribué à l'énergie érosive du fluide car, à la surface du plateau dénudé, les sols limoneux sont particulièrement sensibles à la violence de la pluie. D'après les résultats obtenus dans des conditions comparables, sous de moindres intensités cependant (SCHWING, 1978, MORAND et WICHEREK, 1987, MASSON, 1987), l'ablation des sols sur le plateau a peut-être atteint 400 à 500 t/km². Dense, le fluide a pu mettre en mouvement, sur de courtes distances, des blocs énormes et des pierres s'entrechoquant dans le fond du lit. Au paroxysme du débit, la coulée de matériel hétérogène enlevé aux versants et au fond s'est frayée un passage plus proche de l'axe du lit que du parcours habituel des eaux et s'est amortie à moins de cent mètres plus bas (fig. 6).

Il est bien connu que les charriages de matières solides, à partir d'un seuil de mise en mouvement, varient en gros dans le même sens que les débits mais bien plus que ceux-ci. Les analyses de cas très nombreux le confirment et apportent des données utiles à la prévention locale des catastrophes mais les lois du transport fluvial sont encore mal élucidées; les résultats portant sur les charges solides, leur volume, leur composition, leur densité, leur granulométrie sont très variés, délicats à interpréter et plus encore à transposer car, dans chaque situation particulière, le rôle des pentes est capital (GUIGO, 1979, NEBOIT, 1983, GODARD et RAPP, 1987).

Il existe un indice mesurant l'érosion dans le bassin du Grand-Ravin: l'entrepreneur chargé des déblaiements a enlevé quelque 700 tonnes de terre et de pierres, soit 1 750 t/km². Il faut y ajouter, d'une part, les éléments fins en suspension qui ont transité dans les eaux turbides exportées dans le Petit-Morin et, d'autre part, la boue répandue après décantation sur les pelouses, le feuillage, dans les creux et les bâtiments.

4.3.3. Le calme étant revenu, on peut se demander pourquoi la végétation touffue dans le Grand Ravin n'a pas contenu la coulée torrentielle. Elle l'a certainement freinée mais, ici comme dans le ru de la Fonderie la puissance extraor-

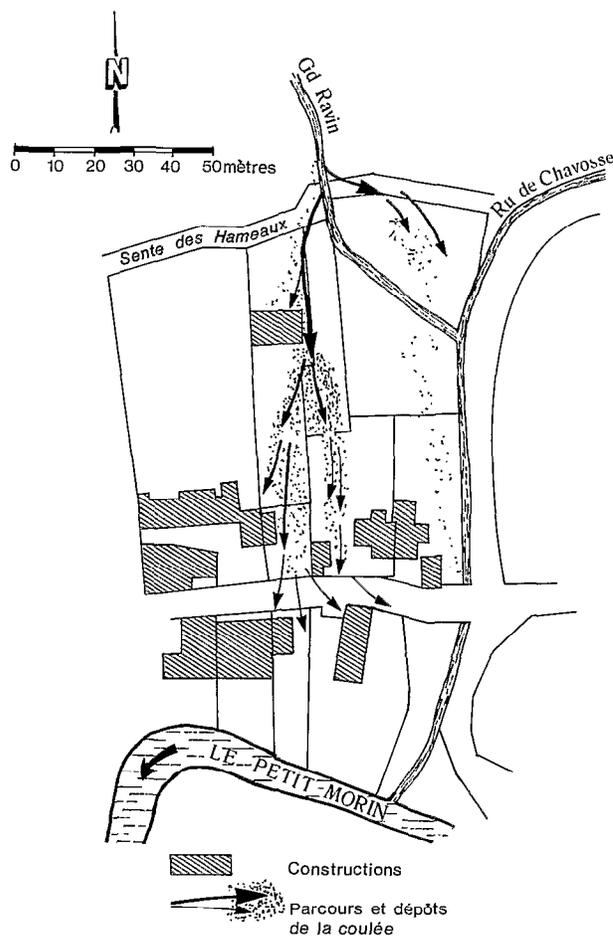


FIG. 6. — Parcours suivi par la coulée torrentielle du grand Ravin

dinaire du maximum instantané, accrue par les pentes plus fortes que dans les rus voisins, a vaincu la capacité d'amortissement du couvert végétal. Traversant le Bois des Meulières, le ru de Charnesseuil s'est affaibli. Dans la vallée boisée de Vorpillière, l'amortissement a aussi été assuré, comme le démontre le fait suivant. Sur un secteur de versant où la pente est de 10 à 12 %, une coulée s'est formée à l'issue d'un espace défriché, au sol nu, d'un peu plus de 8 hectares mais, freinée dans le sous-bois qui borde le ru, elle est venue mourir à 20 m du cours d'eau, abandonnant sur place une traînée de boue et de graviers. L'essentielle conclusion pratique à retenir de ces observations est que les surfaces boisées sont la principale protection des bordures du plateau contre l'érosion à laquelle, par nature, elles sont particulièrement exposées: le défrichement devrait les respecter à tout prix.

5. CONCLUSION

L'examen des circonstances détaillées d'une averse et de ses conséquences hydrologiques est le préalable à toute entreprise de modélisation. C'est dans cet esprit que l'averse du 1.09.1987 dans le bassin du Petit-Morin a été étudiée. Mais ces circonstances mêmes montrent combien le modèle peut être une image estompée du réel. D'une part, il est des averses qui tiennent au concours de causes si rares qu'elles ne peuvent pas entrer dans une modélisation destinée à exprimer les conditions ordinaires de la transformation pluie/débit: en l'espèce, l'averse du 1^{er} septembre est d'une fréquence inconnue mais certainement pluricentennale. D'autre part, le territoire sur lequel cette averse s'est brusque-

ment abattue est constitué par des bassins très différents qu'une accumulation de paramètres locaux peut difficilement décrire: dans le cas considéré du Grand Ravin, tel petit mur qui a résisté a pu dévier le flot ravageur; ailleurs une buse bouchée a suffi pour allonger le temps de concentration, sans elle, prévisible. La visite du terrain qu'il faudrait faire suivre de l'élaboration détaillée de sa carte géomorphologique et d'occupation des sols est une étape indispensable pour comprendre les processus de l'écoulement et pour les prévoir.

Manuscrit accepté par le Comité de Rédaction le 6 mai 1988

BIBLIOGRAPHIE

- BELGRAND, 1873. — La Seine, régime de la pluie, des sources, des eaux courantes. Atlas. *Service hydrométrique du bassin de la Seine*, Paris, 622 p.
- BIROT (P.), 1981. — Les processus d'érosion à la surface des continents, Masson, Paris, 605 p.
- CALVET (C.), 1980. — Les fortes intensités de précipitations à Paris, *La Météorologie*, n° spécial: «Précipitations», Paris.
- CNFC, 1987. — Crues et inondations (Genèse, méthodes d'étude, impacts et préventions). CEREG, Université Louis-Pasteur, Strasbourg, 363 p.
- CEMAGREF, 1981. — Un exemple d'analyse de crues exceptionnelles (14.3 et 14.7.1980) sur le bassin versant de l'Orgeval. Note Ko du 15.06.1981, DHHF — Hydrologie, Antony.
- CREUTIN (J.D.), 1987. — Pluviométrie et télédétection active. In: Deuxièmes journées hydrologiques de l'ORSTOM (Montpellier, 16-17 septembre 1986), ORSTOM, Paris, 325 p.: 252-262.
- GODARD et RAPP (sous la direction de), 1987. — Processus et mesure de l'érosion, CNRS, 571 p.
- GUIGO (M.), 1979. — Hydrologie et érosion dans l'Apennin septentrional, Université d'Aix-Marseille, 2 volumes.
- HERSHFIELD (D.M.), 1967. — Some meteorological requirements in watershed engineering research (Third Annual Conference American Water Resources): 485-492.
- HOLLAND (D.J.), 1968. — Rain intensity frequency relations in Britain, U.K. Meteorological Office, Hydrological Memoranda, 33 (appendix).
- LA HOUILLE BLANCHE, 1983. — Radars et précipitations atmosphériques. n° spécial, mai/juin.
- LEFEVRE (M.A.), 1943. — La structure de la Haute-Brie septentrionale et le tracé de la Marne, *bulletin de l'AGF*, n° 151.
- MASSON (F.X.), 1987. — L'érosion des terres agricoles de la région Nord Pas-de-Calais. *Hommes et Terres du Nord*, n° 3, 139-145.
- MICHEL (C.), 1987. — Hydrologie appliquée aux petits bassins ruraux. *CEMAGREF*, Antony, 1 vol., 429 p.
- Ministère de l'Agriculture, SRAE, CEMAGREF, 1980. — Synthèse nationale sur les crues des petits bassins versants, 4 fascicules.
- MORAND (F.) et WICHEREK (S.), 1987. — Douze parcelles de mesure d'érosion sur un versant de la France des plaines. In: *Processus et mesure de l'érosion*, CNRS: 271-290.
- NEBOIT (R.), 1983. — L'homme et l'érosion. Pub. de la Faculté des Lettres et Sciences Humaines de Clermont-Ferrand, 183 p.
- NEWSON (M.D.), 1975. — Flooding and flood hazard in the United Kingdom, Oxford University Press.
- ORSTOM, 1987. — Deuxièmes journées hydrologiques à Montpellier. Collection Colloques et Séminaires, Paris, 326 p.
- PARDÉ (M.), 1951. — Méthodes pour déterminer les débits maxima possibles des crues exceptionnelles (Quatrième Congrès des grands barrages, New Delhi), vol. II: 805-845.
- PARDÉ (M.), 1961. — Sur la puissance des crues en diverses parties du monde, Saragosse, 293 p.
- PÉDELABORDE (P.), 1957. — Le climat du Bassin Parisien, Génin-LITEC, Paris, 538 p. + vol. d'illustrations.
- SCHWING (J.F.), 1978. — Les manifestations et les événements catastrophiques d'érosion des sols du vignoble alsacien. *Recherches géographiques*, Strasbourg, n° 9; 29-46.